



COUPLAGES ENTRE PROCESSUS MICROBIENS ET RÉACTIVITÉ GÉOCHIMIQUE ABIOTIQUE DANS LE SOL :

APPLICATION A L'ÉTUDE DE L'APPARITION ET DU DEVENIR DE POLLUTIONS AFFECTÉES PAR DES PÉRIODES TRANSITOIRES D'ANOXIE

*P. RENAULT, F. DASSONVILLE, N. PAUTREMAT,
P. CAZEVIEILLE, S. MARLET, J.J. GODON, P. CAMBIER,
A. RICHAUME, J.C. JUMAS, M. DEBROUX, M. DOMEIZEL*

Remerciements

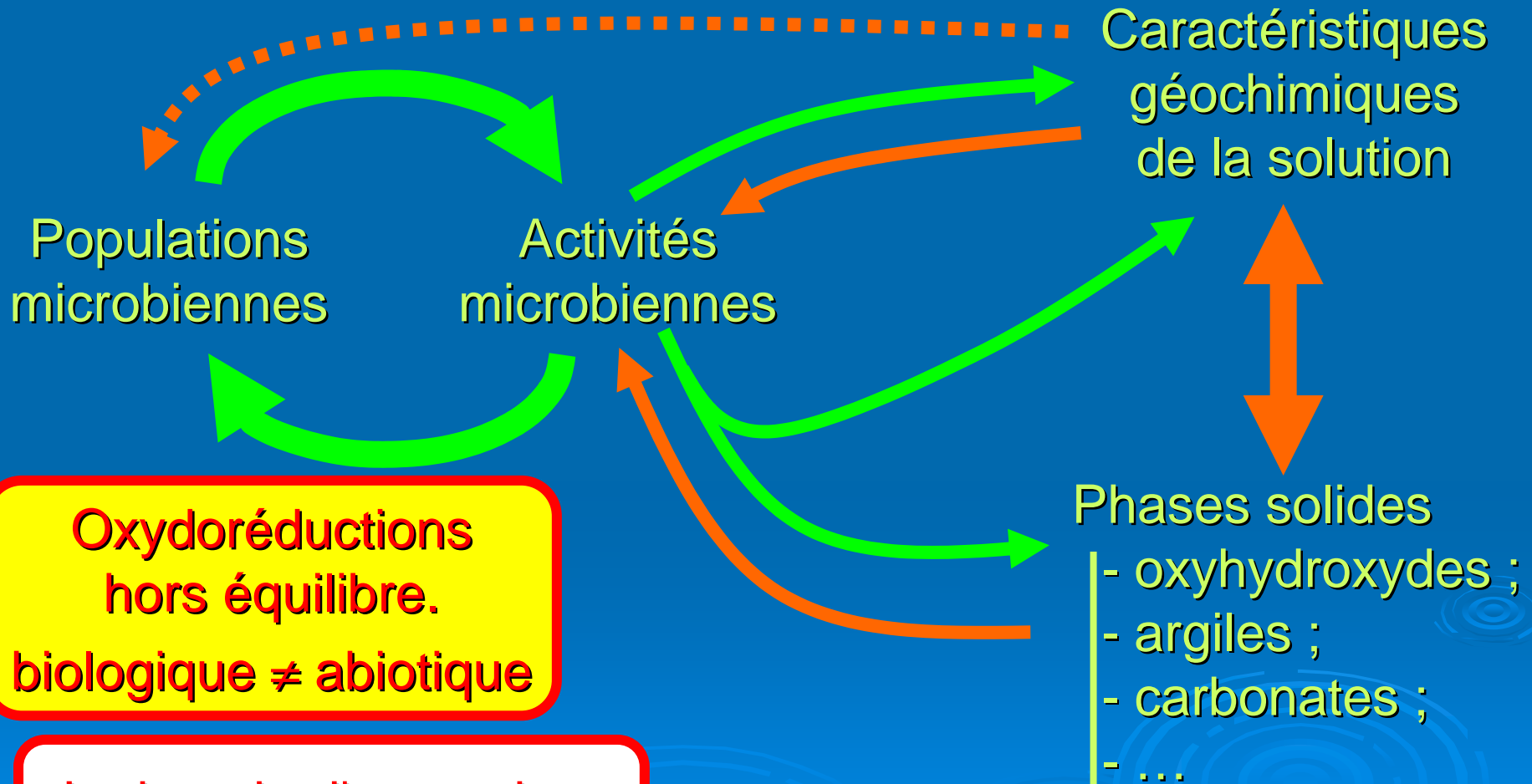


Des problématiques environnementales associées à l'aération du sol

- Gaz à effet de serre et/ou impliqués dans la chimie de l'atmosphère, voire dans l'acidité des pluies : CO_2 , N_2O , CH_4 , NO_x ;
- Mobilisation / immobilisation d'éléments toxiques : Mn, Fe, Cr, U, Tc, As, Se, P ...
- Dépollutions biologiques fonctions de l'aération du milieu : NO_3^- , hydrocarbures, U, Se, As ...



Microbiologie et géochimie liées en anaérobiose ... comme en aérobiose



**Oxydoréductions
hors équilibre.
biologique \neq abiotique**

**Le besoin d'approches
mécanistes**

Biogeochem (Dassonville et al., 2004)

Objectifs

- Axe 1 : test Biogeochem, volet "dynamiques microbiennes" ;
- Axe 2 : possibilités d'extension à des apports complexes ?
- Axe 3 : processus anaérobies affectant le devenir de Fe et Mn ;
 - 3.a : effet des apports de H_2 sur la réduction de FeIII ;
 - 3.b : réducteurs de FeIII et réduction de FeIII ;
 - 3.c : interactions rouilles vertes / NO_3^- ;
- Axe 4 : Retour à l'aérobiose : résiliences géochimique et microbienne ?

Matériels et méthodes



Des incubations diverses

- Des incubations anaérobies en batch, parfois suivies d'une période aérobie ;
- 3 sols :
 - Un calcic cambisol ;
 - Un ferralsol ;
 - Un luvisol ;
- Les apports :
 - initiaux glucose, H_2 , vinasse, rouilles verte, NO_3^- ;
 - après une 1^{ère} incubation : glucose, lactate, H_2 , NO_3^- , SO_4^{2-}



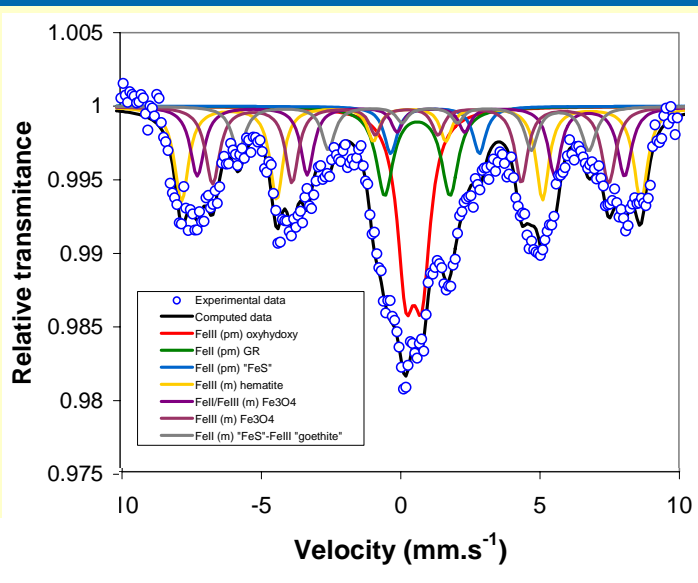
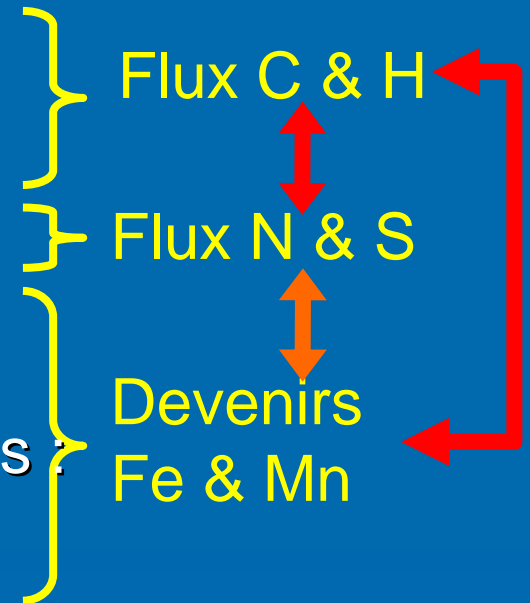
Suivis d'évolutions biogéochimiques :

■ Sur la solution et la phase gazeuse :

- glucides, protides, acides organiques, polyols, alcools, phénols ;
- gaz (O_2 , CO_2 , N_2 , N_2O , H_2 , CH_4) ;
- Solutés minéraux ;
- Métaux (Fe_{t-w} , Fe_{l-w} , Mn_{t-w} , $(Fe_{II}/Fe_{III})_s$) ;
- E_H , pH.

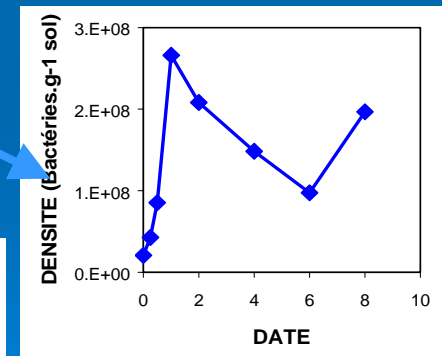
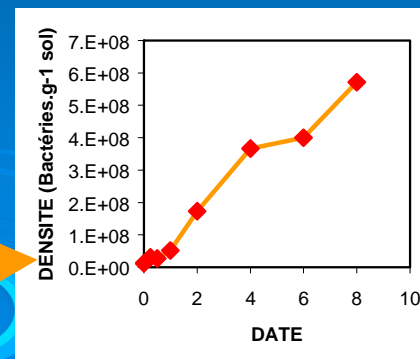
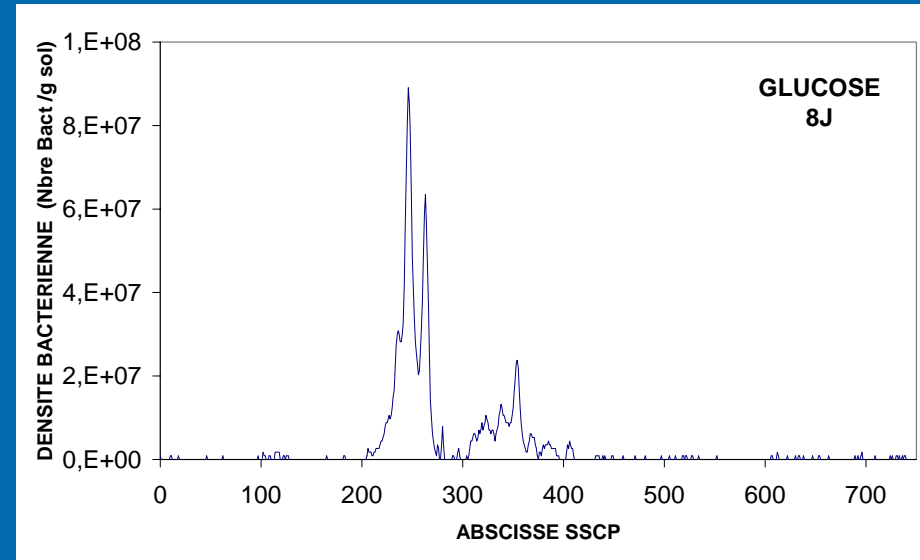
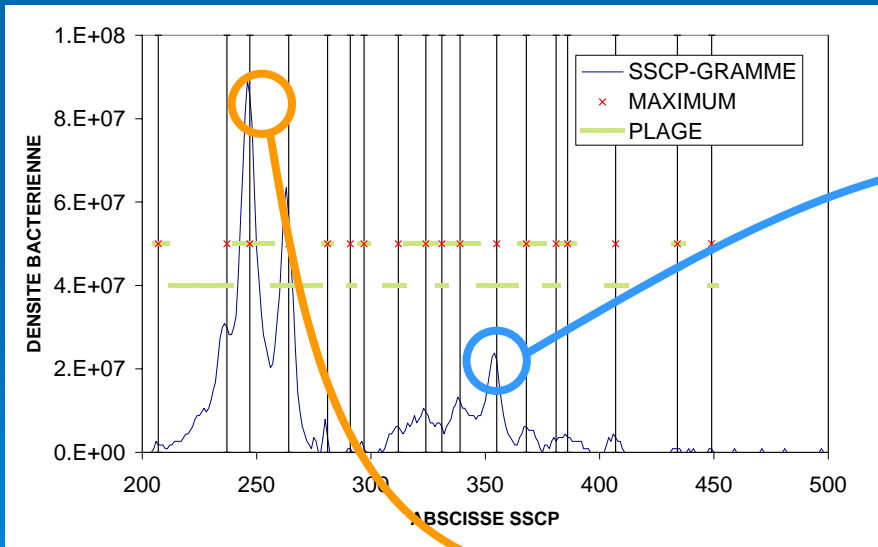
■ Sur les phases solides :

- rapport Fe_{II}/Fe_{III} ;



Dynamiques microbiennes

- Sur les bactéries :
 - types fonctionnels ;
 - PCR-SSCP.
 - acridine orange × PCR-SSCP ;



Bacillus

Clostridium

Analyse des données

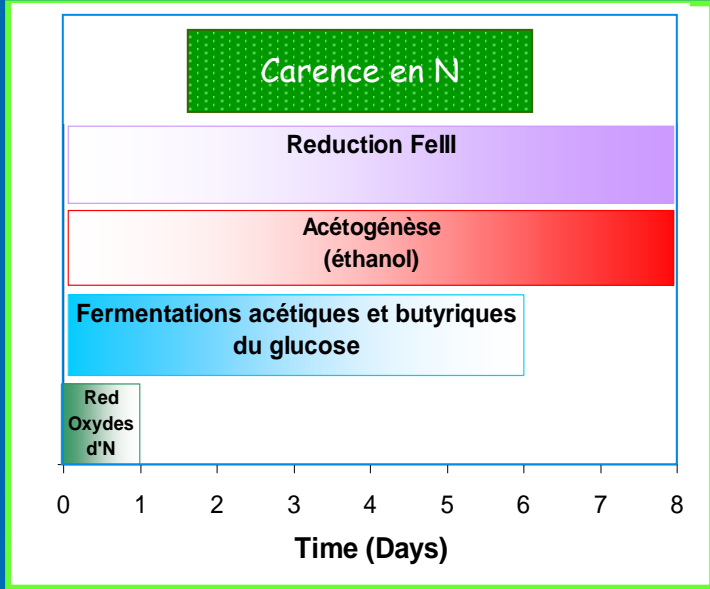
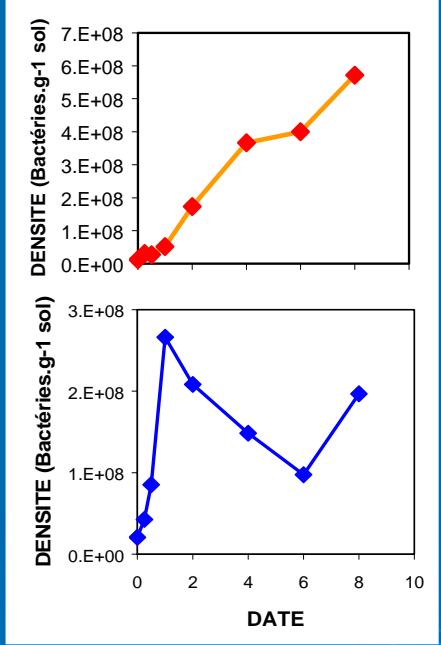
- Etablissement de bilans de matière et de flux d'électrons ;
- Analyse des relations avec les dynamiques microbiennes :
 - 

Diagramme illustrant les processus microbiologiques en fonction du temps (Days) :

 - Red Oxydes d'N (0 à 1 jour)
 - Fermentations acétiques et butyriques du glucose (1 à 6 jours)
 - Acétogénèse (éthanol) (1 à 8 jours)
 - Reduction FeIII (1 à 8 jours)
 - Carence en N (2 à 6 jours)
 - 

Deux graphiques montrant l'évolution de la densité bactérienne (Bactéries.g⁻¹ sol) en fonction de la date (Days) :

Graphique supérieur (orange) : Densité bactérienne (Bactéries.g⁻¹ sol) vs DATE (Days). La densité augmente progressivement de 0 à 6 jours, atteignant environ 6.E+08 à 8 jours.

Graphique inférieur (bleu) : Densité bactérienne (Bactéries.g⁻¹ sol) vs DATE (Days). La densité augmente rapidement de 0 à 1 jour, atteint un pic à 1 jour, puis diminue jusqu'à 6 jours, avant d'augmenter à nouveau à 8 jours.
- Calculs de spéciation des métaux en solution, test de saturations pour différents minéraux ;
- Modèle cinétique de dissolution et oxydation de minéraux FeII

Résultats et discussions



Axe 2 – Prise en compte d'apports complexes

- 40 jours d'incubations en batch, 3 traitements :
 - (C): sol + eau ;
 - (+W): sol + vinasse diluée (1:10);
 - (+S+W): sol stérile + vinasse diluée.



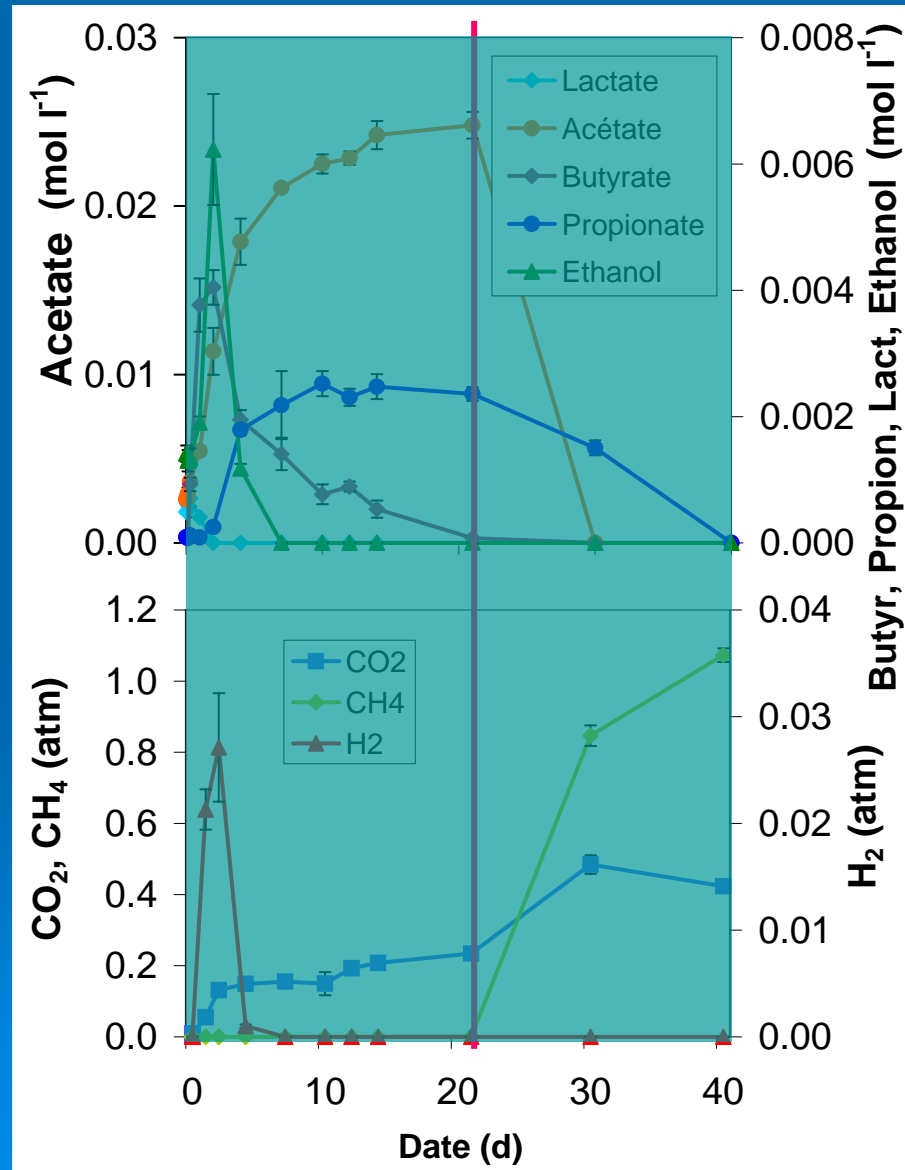
Volet 2 : 2 périodes distinctes

■ 0 - 21 j

→ Fermentations et acétogénèse

→ "Pas" de C consommé pour réduire les métaux

→ Précurseurs de H_2 () ou H_2



■ 21 - 40 j

→ Fin de l'acétogénèse et méthanogénèse

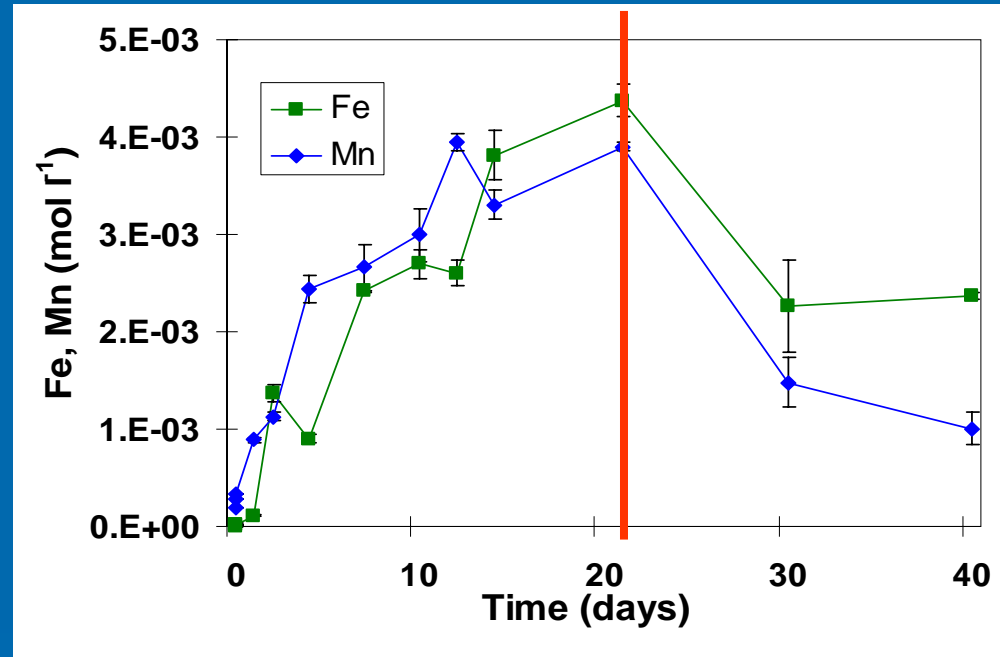
→ Plus de composés pour réduire les métaux

Volet 2 : devenirs de Fe et Mn

Mêmes périodes :

0-21 j : Fe & Mn réductions & mobilisation/immobilisation;

21-40 j : "seulement" immobilisations de FeII & MnII.



Distribution de FeII & MnII entre solution et solides :

■ basée sur le bilan de H₂ :

$$(\text{FeII} + \text{MnII})_w / (\text{FeII} + \text{MnII})_t = 15\%$$

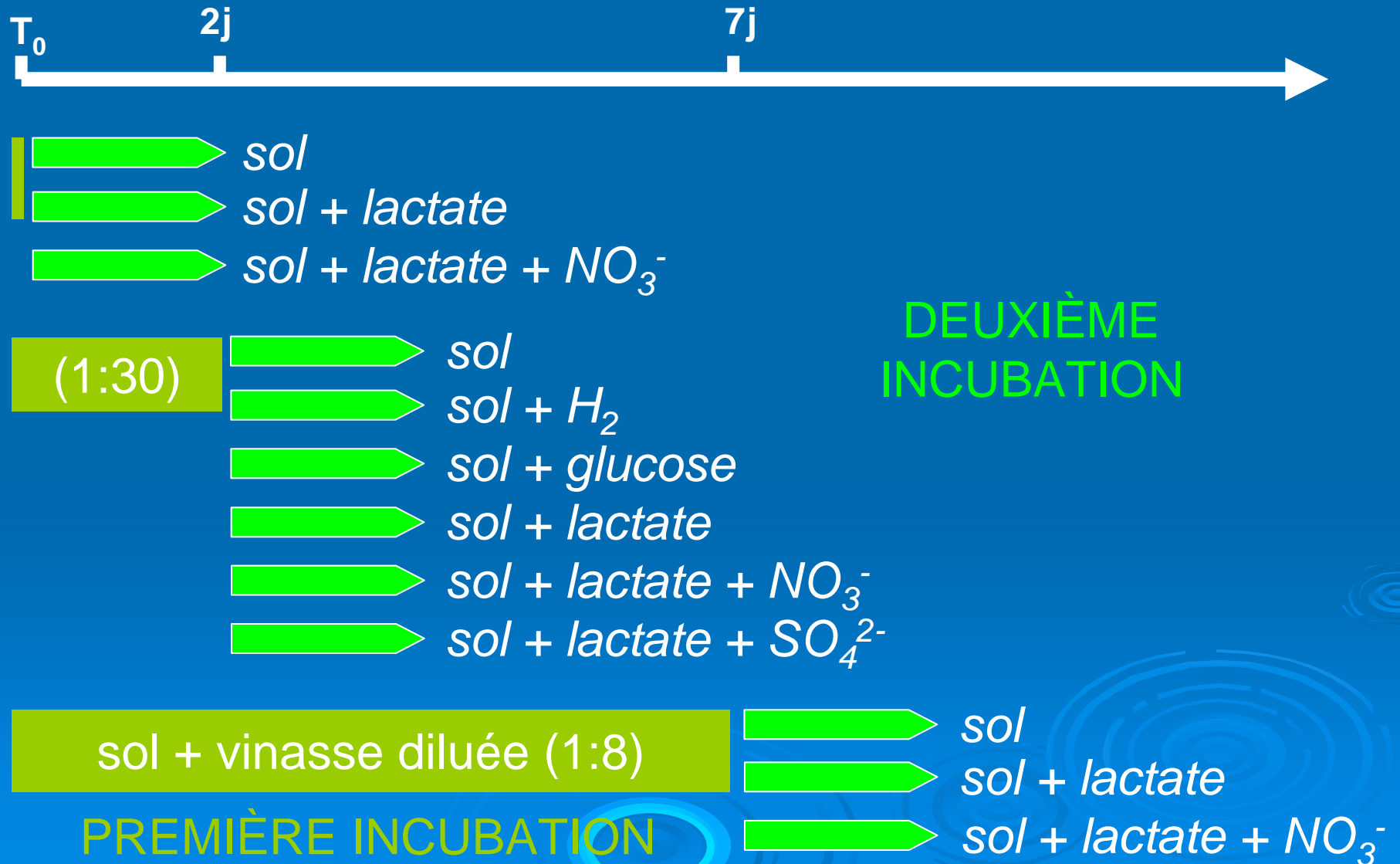
■ basée sur les cinétiques de mobilisation :

$$\begin{aligned} (\text{FeII})_w / (\text{FeII})_t &= 30\% \\ (\text{MnII})_w / (\text{MnII})_t &= 15\% \end{aligned}$$

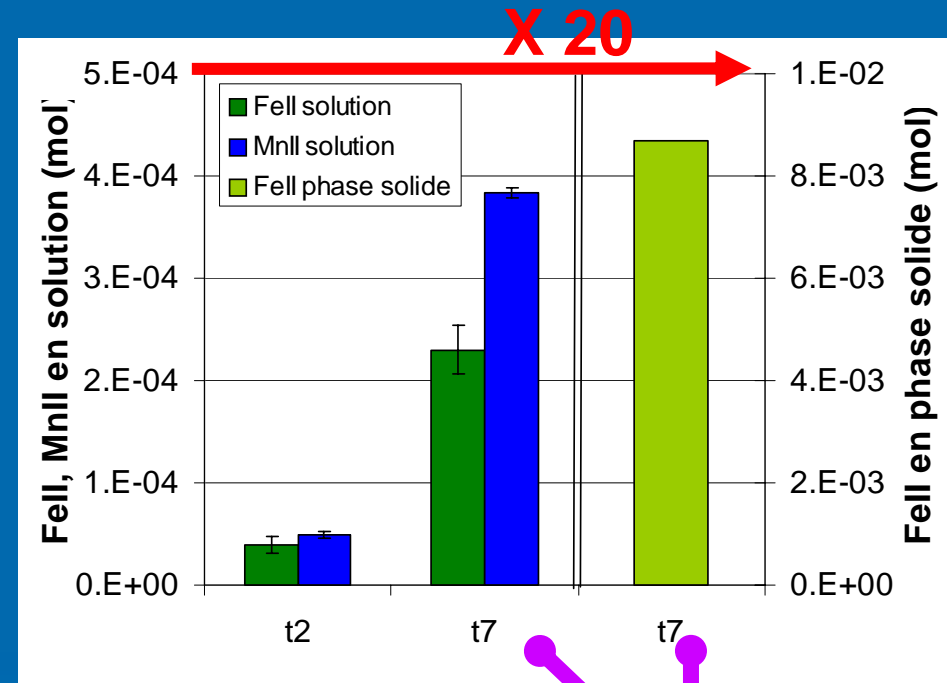
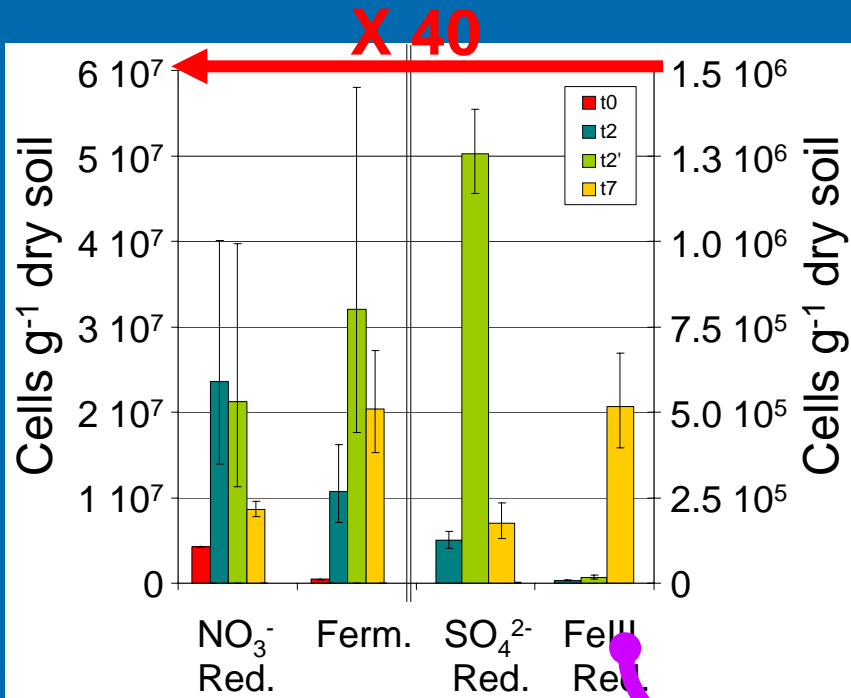
■ Utilisant les données Mössbauer :

$$(\text{FeII})_w / (\text{FeII})_t = 2.4\%$$

Volet 3.b : Matériels et méthodes



Volet 3.b : 1^{ère} période



MPN / densité calculée

Réducteurs de NO ₃ ⁻	1.1 %
Bactéries fermentaires	0.13 %
Réducteurs de SO ₄ ²⁻	0.02 %
Réducteurs de FeIII	0.007 %

Accroiss.
calculé de
densité des
réducteurs
de FeIII

Rapport
cultivable /
"total" des
réducteurs
de FeIII
très bas

Volet 3.b – 2^{ème} période

Incubation initiale :

Difficulté à justifier plus de difficultés à cultiver les réducteurs de FeIII que les autres communautés

MPN	Réduction/oxydation		
Fe-red	Ferm	Fe-red	Mn-red
($\times 10^4$)			

Control	8.9	↗↗↗	↘↘	↗↗
---------	-----	-----	----	----

+glucose	7.1	↗↗↗↗	↗↗↗	↗↗↗
----------	-----	------	-----	-----

Densité calc. / MPN

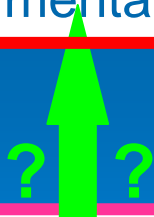
2 d (t2')	7 d
-----------	-----

Réducteurs
de SO_4^{2-}

>> 0.51 % 0.02 %

↘ ↗↗

↘ ↗↗



Absence de corrélation entre la croissance des réducteurs de FeII et la mobilisation de FeII

??



Indication de :

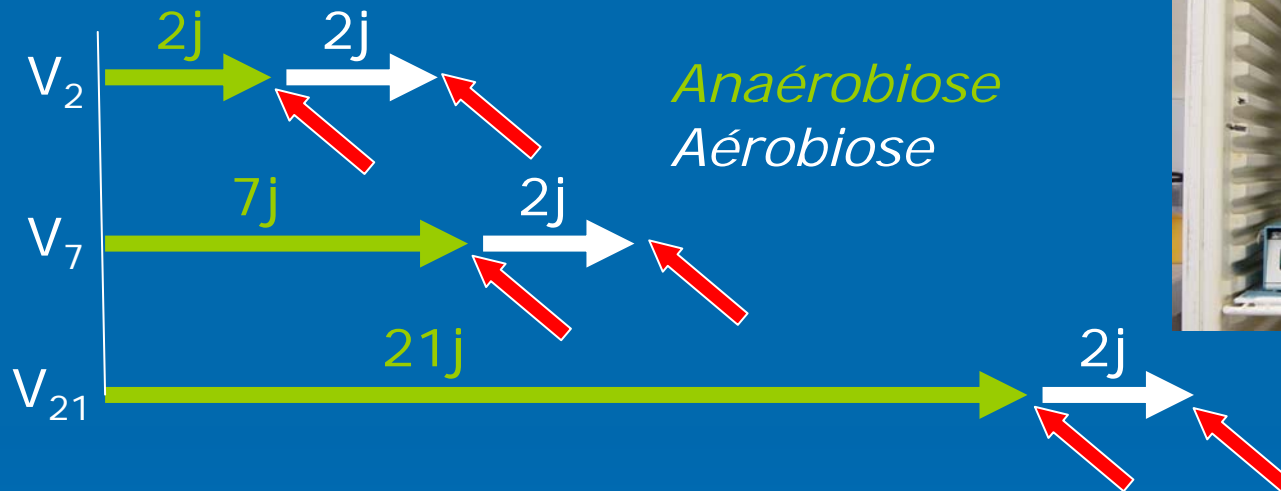
autres respirations : réduction de SO_4^{2-} combinée à une réduction abiotique de FeIII ...

Volets 2 & 3 – principales conclusions

- Transformations cataboliques descriptibles par quelques réactions de bilan ;
- Réduction des métaux avec oxydation de H_2 ou de précurseurs de H_2 (formiate, éthanol, butyrate);
- Pas de relation claire entre dynamique des réducteurs de FeIII réduction de FeIII :
 - faible cultivabilité des réducteurs de FeIII ?
 - réduction biologique sans gain d'énergie (fermentaires...) ?
 - réduction abiotique couplée à d'autres réductions microbiennes (SO_4^{2-} ...) ?

Volet 4 – Devenir de Fe et Mn après retour à l'aérobiose

- Incubation en batch de sol amendé de vinasse de rhumerie

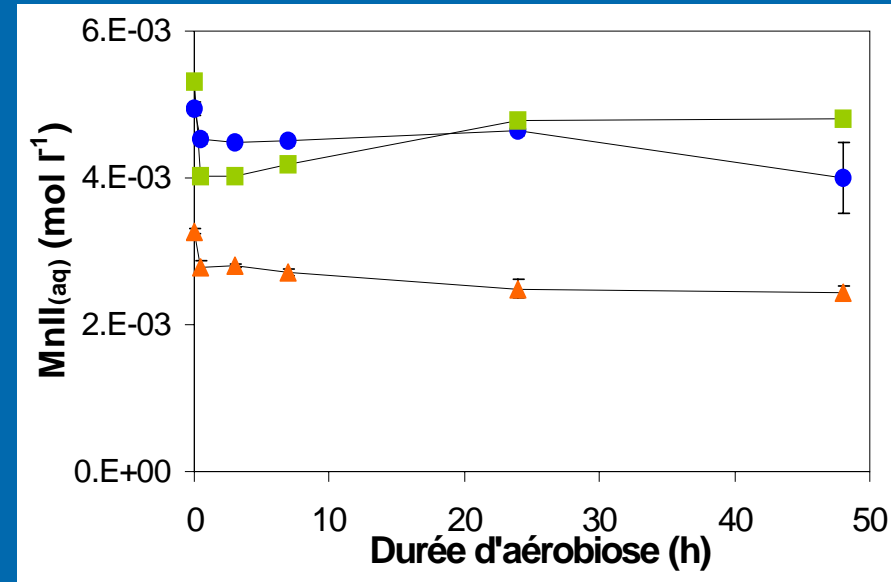
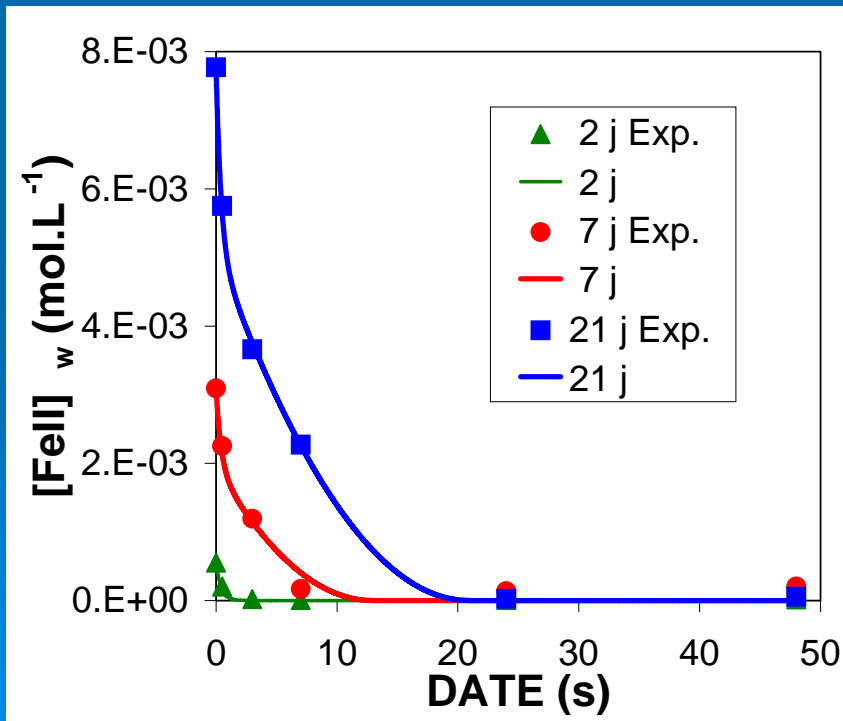


Suivis :

- Gaz (anaérobie)
- Solutés minéraux et organiques
- Éléments métalliques en solution (Fe_{aq} , $\text{Fe}_{\text{II}_{\text{aq}}}$, Mn_{aq})
- Fe_{II} en phase solide
- Biodiversité microbienne

Volet 4 – Evolutions contrastées de Fe et Mn mobilisés

- Absence de ré-oxydation du Mn^{II} lors d'un retour à l'aérobiose



- Ré-oxydation rapide du Fe^{II} mais ne concerne qu'une partie du Fe^{II} produit



Volet 4 – principales conclusions

- Comportement contrasté entre Fe et Mn ;
- Remobilisation d'une fraction seulement de Fe préalablement réduit et immobilisé ;
- Evolution de biodiversité semblant indiquer un retour (résilience ?) vers un "profil aérobie" ;
- Faibles activités microbiennes aérobies suite à l'aération du milieu

Perspectives : nouveau programme ECCO-PNBC

- Les alternances aérobiose – anaérobiose – aérobiose – ...
- L'absorption & l'excrétion microbienne de petits composés organiques ;
- L'amélioration du modèle biogechem